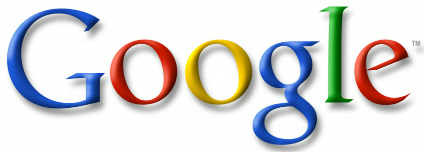

Google



Abhängigkeit der Tonhöhe einer musikalischen Bogenlampe von Kapazität, Selbstinduktion u. Polspannung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Richard Schalhorn

aus Berlin.

Rostock 1906

Eichemeyer & Fett, G. m. b. H.



Abhängigkeit der Tonhöhe einer musikalischen Bogenlampe von Kapazität, Selbstinduktion u. Polspannung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Richard Schalhorn

aus Berlin.



Rostock 1906

Eichemeyer & Fett, G. m. b. H.

Referent: Professor Dr. Martens.

Meiner lieben Mutter
und dem Andenken meines Vaters.

Inhalt.

I. Einleitung.

Zu Anfang des vorigen Jahrhunderts entdeckte Sir Humphry Davy den elektrischen Lichtbogen, der in der modernen Technik eine große Bedeutung hat. Im Jahre 1898 fand Th. Simon[1]) in Göttingen, daß ein dem Hauptstrom einer Gleichstrombogenlampe sich überlagernder Wechselstrom ein Zischen und Pfeifen des Lichtbogens verursacht. Diese Tatsache zu erklären bemühten sich Mrs. Ayrton[2]), W. Duddel[3]), W. Peukert[4]), O. Hartmann[5]) und andere Physiker.

Das Zischen wird auf die Volumenänderung des Lichtbogens und auf die wechselnde Zahl der verdampften Kohlenmoleküle zurückgeführt. Außerdem kann in Betracht gezogen werden, daß der Lichtbogen kein homogenes Ganze darstellt, sondern aus einer gewissen Zahl von Stromfäden zusammengesetzt ist, die sich wie elastische Bänder verhalten und einander

---

1) Th. Simon. Akustische Erscheinungen am elektrischen Flammenbogen. Ann. d. Phys. u. Chemie 64, 1898, S. 233.

2) Ayrton. The electric Arc. London. 1902.

3) W. Duddel. The Electrician. 1900 u. 1903.

4) W. Peukert. Beiblätter z. d. Ann. d. Phys. 1901, S. 721. Elektrotechnische Zeitschrift 22, 1901, S. 467—468.

5) O. Hartmann. Beiblätter z. d. Ann. d. Phys. 23, 1899, S. 1040. Elektrotechnische Zeitschrift 20, 1899, S. 369—370.

bei Verstärkung oder Schwächung des Stromes mehr oder weniger abstoßen.

Die Schallwirkungen einer Bogenlampe sind auf viele Meter noch genau wahrnehmbar. Um die günstigsten Wirkungen zu erzielen, ist es nötig, die Amplituden der dem Gleichstrom aufgeprägten Stromschwingungen möglichst groß zu machen. Braun[1]) weist ferner darauf hin, daß bei gleicher Amplitude der Stromschwankungen bei zunehmender Lampenstromstärke bessere Erfolge zu erreichen seien.

Da nämlich die Joule'sche Wärme i^2w proportional ist, so ist der durch den Zuwachs di bewirkte Wärmezuwachs $2i\,w\,di$, d. h. der Betriebsstromstärke proportional. Vorteilhaft ist es hiernach auch, wie Simon[2]) in seiner ersten Arbeit zeigte, lange Flammenbogen zu erzielen, d. h. W groß zu machen; wird derselbe indeß zu lang, so hört das Tönen plötzlich auf.

Die folgenden Untersuchungen über die Abhängigkeit der Tonhöhe der musikalischen Bogenlampe von Kapazität, Selbstinduktion und Polspannung sind von Herrn Professor Dr. Wachsmuth angeregt worden. Die zuerst angestellten Versuche mit Hilfe der Kundt'schen Staubfiguren die Schwingungszahl und dadurch die Tonhöhe zu bestimmen, versagten, da das Pfeifen zu schwach war, und der Lycopodiumsamen in den Glasröhren keine Staubfiguren zeigte. Die folgenden Versuche wurden daher mit dem rotierenden Spiegel ausgeführt.

---

[1]) Braun. Wied. Ann. d. Phys. 1898. Bd. 65, S. 358.

[2]) Th. Simon. Ann. d. Phys. u. Chemie Bd. 64. 1898. S. 233.

II. Methoden und Apparate.

---

a) Handregulator.

Die zu den Versuchen benutzte Bogenlampe ist ein einfacher Handregulator (Fig. 1). Die Säule eines schweren eisernen Statives trägt 3 horizontale Hartgummistangen (f). Am freien Ende des oberen Armes

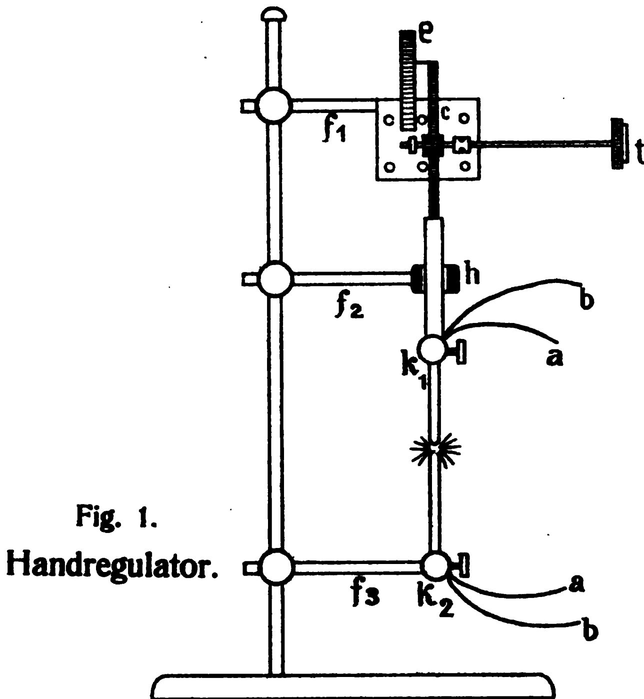


Fig. 1.
Handregulator.

ist eine Messingplatte angebracht; auf dieser gleitet die Zahnstange (c), welche durch den Trieb (t) auf und nieder bewegt werden, und deren Stellung an der Skala (e) abgelesen werden kann. Am unteren Ende

der Zahnstange (c) ist ein Messingrohr befestigt, welches durch den Führungsring (h) hindurch geht. Das untere Ende der Messingstange trägt mit Hülfe einer Klemme (k_1) die obere Kohle, während die untere Kohle von einer festen Klemme (k_2) gehalten wird. Primärstrom und Sekundärstrom werden durch die Klemmen (k_1 u. k_2) den Kohlen zugeführt. Bei den Versuchen wurden 12 mm Homogenkohlen benutzt.

b) Schaltung.

Die Schaltung ist aus Fig. 2 ersichtlich. Die der Lampe durch den Hauptstromkreis zugeführte Stromstärke wurde mit einem Präzisionsampermeter (A) von Siemens & Halske mit passendem Nebenschluß gemessen. W ist ein Regulierwiderstand aus Manganindraht und E ist die Stromquelle. Der Strom wurde dem städtischen Leitungsnetz, welches 220 Volt Spannung hat, entnommen. Die Spannung an den Elektroden wurde in Stromkreis (3) mit einem Hitzdrahtvoltmeter (V) von Hartmann und Braun [1]) bestimmt.

c) Rotierender Spiegel.

Die von dem Bogen ausgehenden Strahlen werden durch eine Linse (L) nach Reflektion am Spiegel (S) (Fig. 2) auf die photographische Platte geworfen. Die Entfernung der Platte vom Spiegel ist so eingestellt, daß auf der Platte ein scharfes Bild des Lichtbogens entsteht. Der Spiegel (S) ist auf der

[1]) Das Hitzdrahtvoltmeter ist von der Firma Tischbein & Schwiedeps bereitwilligst zur Verfügung gestellt worden, wofür ich hiermit meinen besten Dank ausspreche.

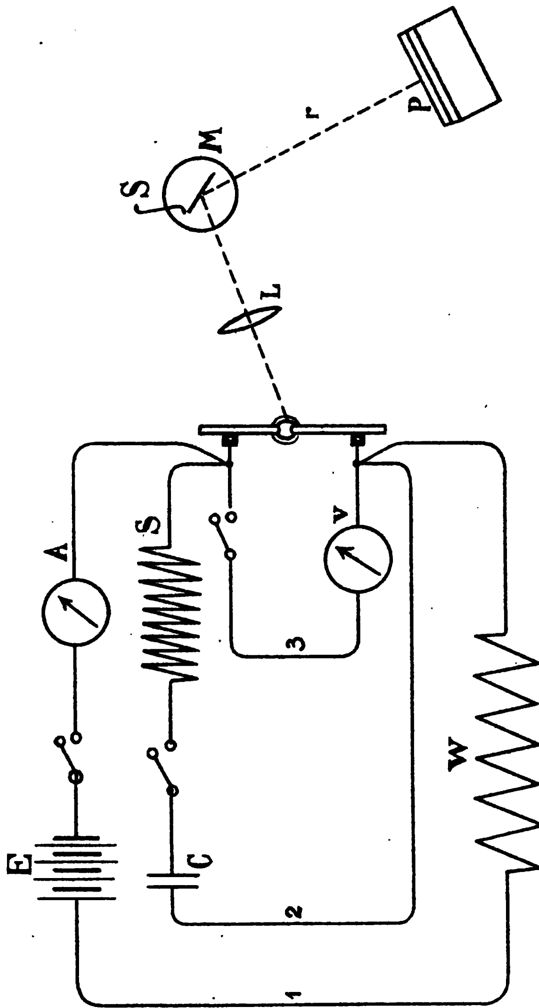


Fig. 2.
Schaltung und rotierender Spiegel.

vertikalen Achse eines Motors befestigt, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit durch einen passenden Vorschaltwiderstand reguliert werden kann. Die photographische Platte (P) befindet sich an der Rückseite

eines Holzkastens, an der vorderen Seite ist ein Momentschlitzverschluß angebracht. Der Momentverschluß belichtet die Platte in dem Augenblick, wo der Spiegel ein Bild des Bogens auf die Platte wirft, so daß nur ein einziges und nicht mehrere aufeinander gelagerte Bilder entstehen.

Da die Platten sehr lichtempfindlich sind, ist sowohl die Lampe als auch Linse und Spiegel in einen Pappkasten gestellt, so daß nur der von dem Spiegel reflektierte Strahl auf die Platte gelangt und dieselbe belichtet.

d) Meßverfahren und Berechnung.

Der Motor drehte sich so langsam, daß man leicht die einzelnen Umdrehungen erkennen konnte. Es wurde mit einer Springuhr die Zeit gemessen, in

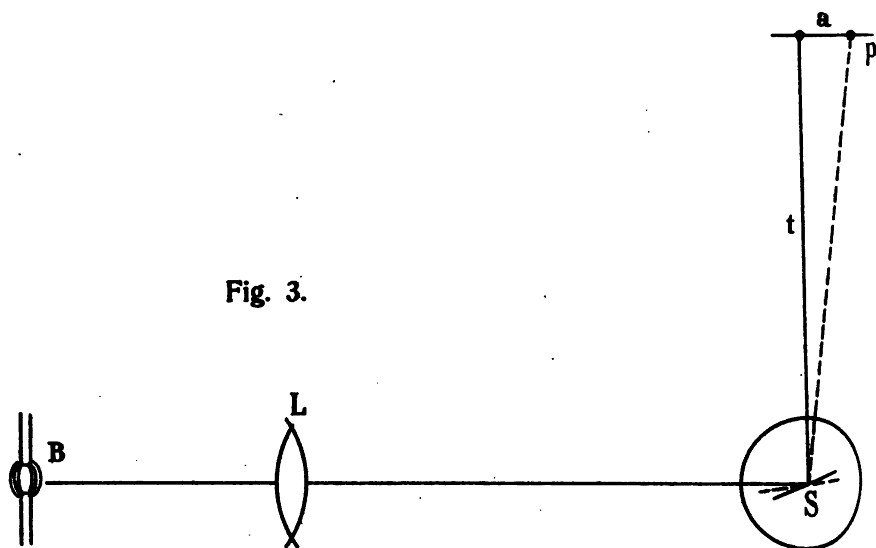


Fig. 3.

der etwa 20 Umdrehungen gemacht wurden. Ist (N) die Anzahl der Umdrehungen in einer Sekunde, so ist $T = \frac{1}{N}$ die Umdrehungszeit. Bezeichnen wir mit (T) die Zeit, in welcher 2 Maxima des Lampenstromes und damit der Lampenhelligkeit aufeinander folgen, so ist $n = \frac{1}{T}$ die Zahl der Maxima in 1 Sekunde. Auf der entwickelten Platte wurde der Abstand (a) zweier Helligkeitsmaxima bestimmt. (Fig. 3). Die Entfernung (r) des Spiegels (S) von der Platte (P) wurde mit einem Maßstab nach jeder Aufnahme gemessen.

In τ Sekunden legt der reflektierte Strahl den Weg $4 \pi r$ zurück, da derselbe sich doppelt so schnell dreht als der Spiegel; in 1 Sekunde also den Weg $\frac{4 \pi r}{\tau}$; in T Sekunden den Weg $a = \frac{4 \pi \cdot r \cdot T}{\tau}$. Da nun $\frac{1}{T} = n$ gesetzt werden kann, so ist die Schwingungszahl des Lampenstromes oder die Tonhöhe des Lampentones

1) $n = \frac{4 \pi r}{\tau \cdot a}$.

III. Abhängigkeit der Tonhöhe von Kohlenabstand, Kapazität und Selbstinduktion.

In folgenden 4 Tabellen und den Tafeln, am Schlusse der Arbeit, sind die gemachten Versuche zusammengestellt.

Tabelle I.

Kapazität = 3,226 Mikrofarad.

№	Kohlen-abstand in mm	Ent-fernung r in cm	Touren-zahl des Spiegels pro Min.	Schwing-ungs-zahl n pro Sek.	L
1	0,5	78	200	2041	0,0019
2	1	78	200	1814	0,0024
3	1,5	78	200	1555	0,0032
4	2,0	78	172	1399	0,0040
5	2,5	78	200	1256	0,0050
6	3,0	78	120	1160	0,0058
7	3,5	78	150	1289	0,0048
8	4,0	58,6	150	1082	0,0068
9	4,5	77	100	1239	0,0052

Tabelle II.

Kapazität = 2,757 Mikrofarad.

№	Kohlen-abstand in mm	Ent-fernung r in cm	Touren-zahl des Spiegels pro Min.	Schwing-ungs-zahl n pro Sek.	L
1	0,5	92	172	2407	0,0016
2	1,0	87	200	2142	0,0020
3	1,5	87	240	2023	0,0023
4	2,0	90	150	1766	0,0030
5	2,5	90	150	1662	0,0034
6	3,0	86	172	1543	0,0040
7	5,0	84	100	1256	0,0060

Tabelle III.

Kapazität 0,469 Mikrofarad.

№	Kohlen-abstand in mm	Ent-fernung r in cm	Touren-zahl des Spiegels pro Min.	Schwing-ungs-zahl n pro Sek.	L
1	0,5	84	150	4396	0,0028
2	1,0	80	150	4186	0,0030
3	1,5	76	150	3872	0,0036

Tabelle IV.

Kapazität 0,224 Mikrofarad.

№	Kohlen-abstand in mm	Ent-fernung r in cm	Touren-zahl des Spiegels pro Min.	Schwing-ungs-zahl n pro Sek.	L
1	0,5	84	200	7034	0,0023
2	1	84	200	5861	0,0033

In Figur 4 ist die Schwingungszahl des Tones als Funktion des Kohlenabstandes dargestellt. Man findet, daß in jeder der 4 Kurven bei dem geringsten Kohlenabstande der Ton am höchsten ist. Derselbe fällt allmählich und versagt, wie Kurve 1 u. 2. zeigen, bei 4 bis 5 mm dadurch, daß entweder das Pfeifen aufhört oder der Bogen überhaupt abreißt. Auffallend ist, daß in Kurve 1 schon bei 3 mm Kohlenabstand dieselbe Tonhöhe wie bei 5 mm erreicht ist. Man kann sich dies eigentlich nur dadurch erklären, daß bei noch bedeutend größeren Kapazitäten wahrscheinlich der Kohlenabstand keine große Rolle spielen, sondern es bei verschiedenen Kohlenabständen vielleicht nur

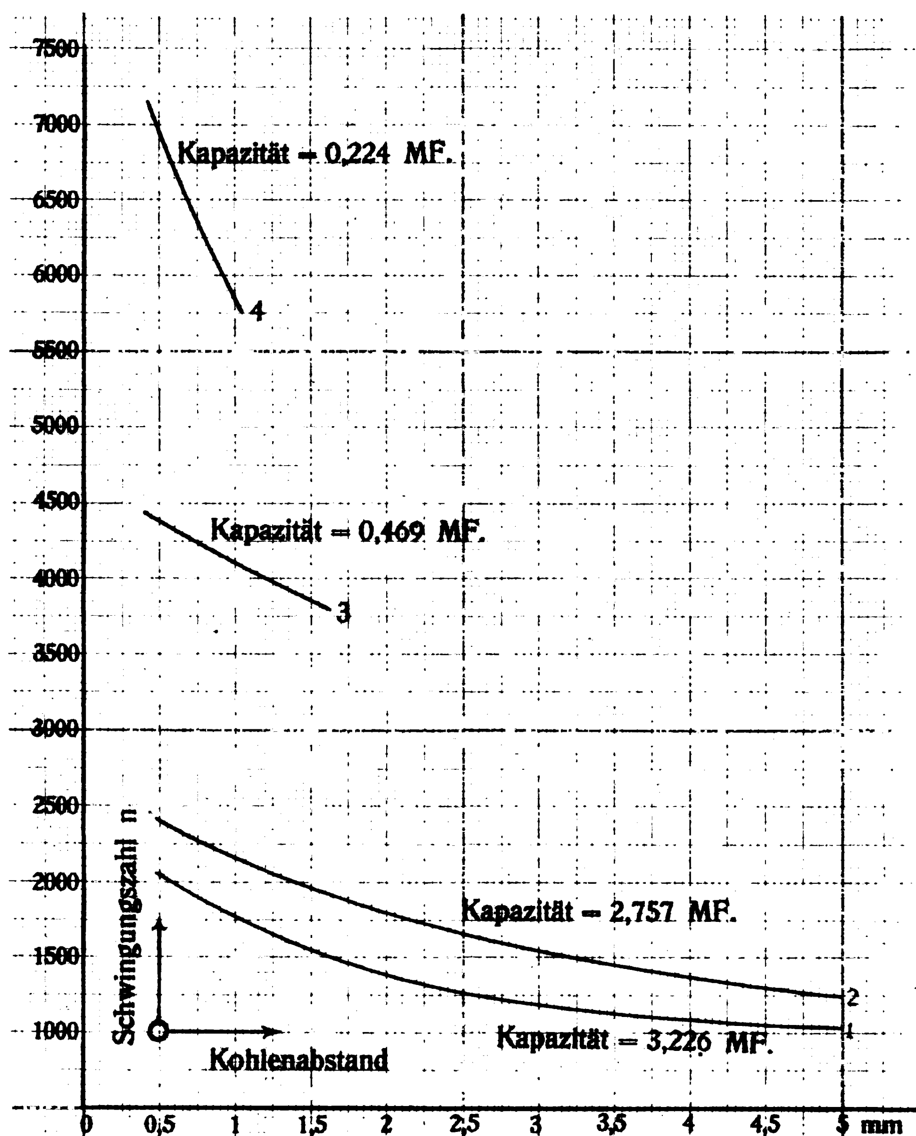

7500
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
Kapazität = 0,224 MF.
4
Kapazität = 0,469 MF.
3
Kapazität = 2,757 MF.
2
Kapazität = 3,226 MF.
1
Schwingungszahl n
Kohlenabstand
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
4,5
5 mm

Fig. 4.

ein und denselben Ton geben würde. Diese Annahme wird durch Kurven 2, 3, 4 bestärkt, weil bei schwächeren Kapazitäten die Kurven schließlich zu einer geraden Linie werden.

Betrachtet man die Kurven 1, 2, 3, 4, so findet man, daß die Töne der pfeifenden Bogenlampe bei großen Kapazitäten sehr tief und bei kleinen Kapazitäten sehr hoch liegen. In Kurve 4 ist die Schwingungszahl so groß, daß die Töne von dem menschlichen Ohr kaum noch zu vernehmen waren. Die größte erreichte Schwingungszahl ist $n = 7034$ pro Sekunde. Dieselbe entspricht einer Tonhöhe a^5.

Mr. Frotter[1] fand, daß der pfeifende Bogen rotiert und der Strom sich durch den Bogen periodisch ändert, indem die Frequenz dieser Änderungen dieselbe war wie die Höhe des erzeugten pfeifenden Tones und wie die Rotationsgeschwindigkeit des Bogens. Nach diesen Beobachtungen erklärt Duddel[2], daß die Töne durch oscillirende Ströme hervorgebracht werden, die in dem von der Kapazität, der Selbstinduktion und dem Bogen gebildeten Stromkreise fließen. Die Dauer T der Schwingungen, welche sich in dem System von Kapazität und Selbstinduktion ausbilden, d. h. die Eigenschwingungsdauer des Stromkreises 2, berechnet man nach der bekannten Thomson'schen Formel

$$2)\quad T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}\ ^{3)}$$

---

[1]) The Electrician 1894. Bd. 33. S. 298.

[2]) Duddel. The Electrician 1903.

[3]) W. Peukert. Beiblätter zu den Ann. d. Phys. 1901. S. 721.

wo L die Selbstinduktion und C die Kapazität ist. Nach Umformung ist

$$T = \frac{1}{n} = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C} \text{ oder } \frac{1}{n^2} = 4\pi^2 \cdot L \cdot C;$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot n^2 \cdot C} = \frac{1}{\omega^2 \cdot C},$$

wenn $\omega = 2\pi n$ gesetzt ist. Nach obiger Formel sind die in den Tabellen angegebenen und in Fig. 5 graphisch dargestellten Werte von L berechnet worden. Man sieht, daß L mit wachsendem Kohlenabstand zunimmt und bei verschiedenen Kapazitäten ungefähr denselben Wert hat, wenn der Kohlenabstand der gleiche ist. Die geringen Abweichungen, die man beim Vergleich der 4 Tabellen antrifft, kann man auf die Unzuverlässigkeit der Papierkondensatoren zurückführen. Bei allen Versuchen war eine Selbstinduktion von 0,003 Henry eingeschaltet. Die Tonhöhe bleibt beim Ausschalten der letzteren unverändert.

Sowie der Lichtbogen aufhört zu pfeifen, verschwindet der Wechselstrom, und es ist nur noch Gleichstrom vorhanden. Man muß sich vergegenwärtigen, wie Duddel[1]) sagt, daß die Kraftquelle nicht wechselnden Strom gibt, obgleich man durch Kapazität und Selbstinduktion einen Wechselstrom hat, und daß es der Bogen selbst ist, der als Konverter wirkt und einen Teil des Gleichstromes in wechselnden umformt. Die Frequenz desselben kann innerhalb sehr weiter Grenzen durch Variation der Kapazität verändert werden. Die Beziehung zwischen Kapazität und Frequenz kann dadurch sehr leicht gezeigt werden,

---

[1]) Duddel. The Electrician 1903.

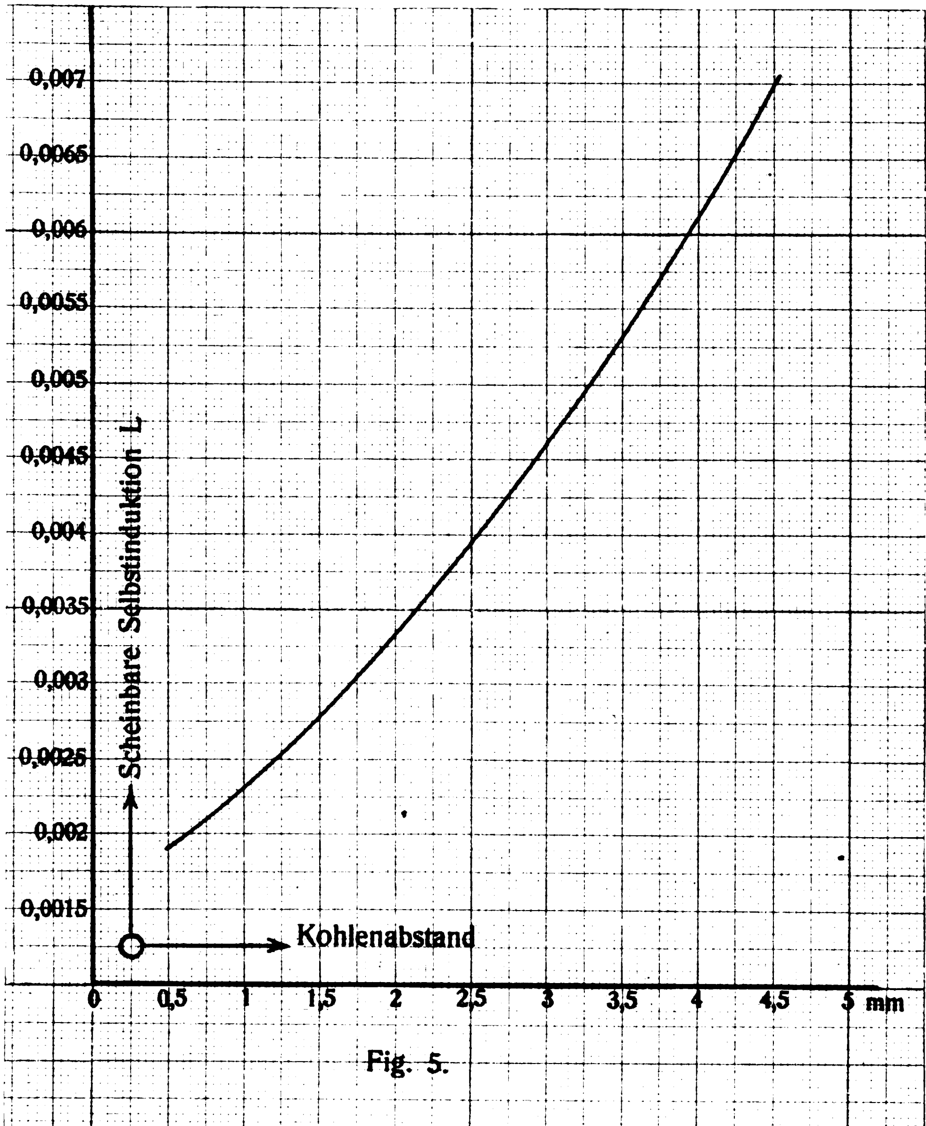


Fig. 5.

daß man die eine oder die andere Größe verändert. Der eine Kondensatorkasten war z. B. mit Stöpseln versehen, so daß man die Kapazität beliebig verändern

konnte. Durch das Entfernen und Hereinstecken der Stöpsel konnte ein Akkord hervorgerufen werden. Die Tonhöhe des pfeifenden Bogens kann daher zur Vergleichung zweier Kapazitäten benutzt werden.

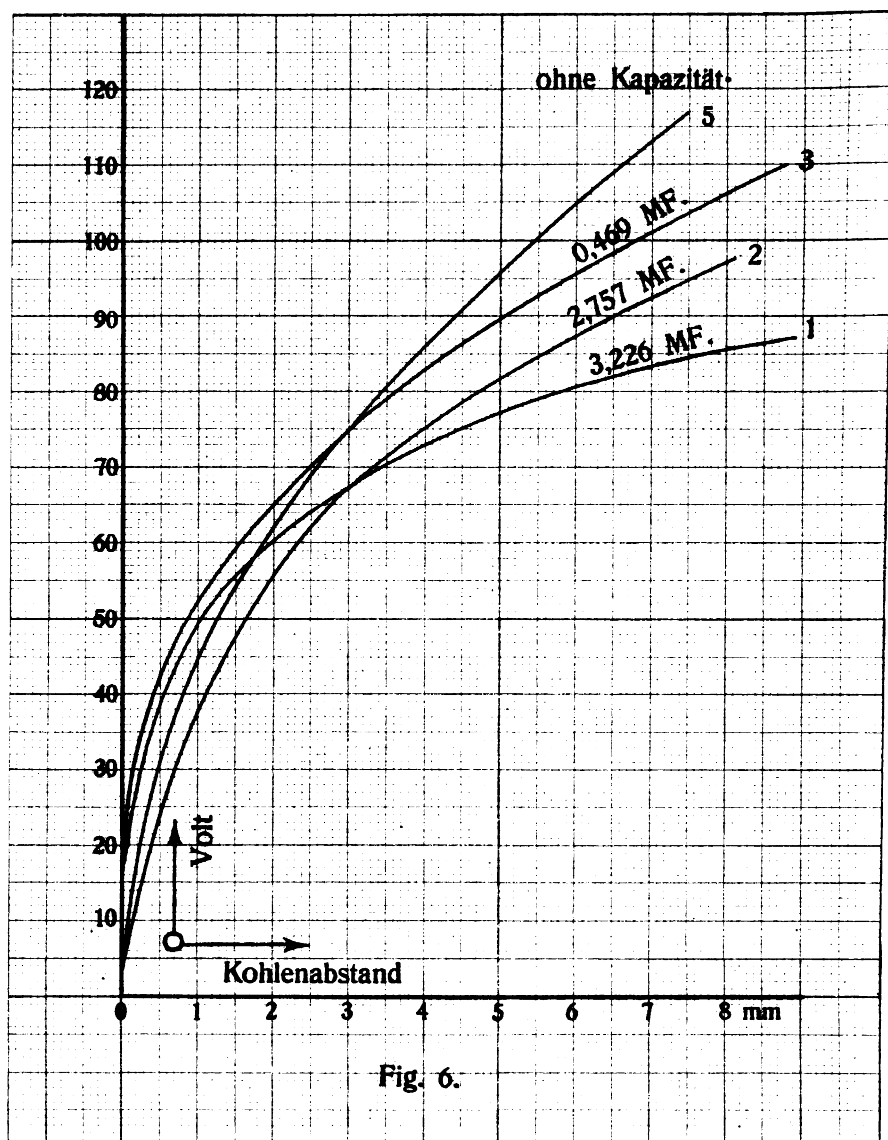
Als Resultat ergibt sich, daß eine Änderung der Kapazität C den von Formel 2 vorausgesagten Einfluß auf die Tonhöhe $\frac{1}{T}$ hat; denn es ergeben sich dieselben Werte von L aus den Beobachtungen mit ganz verschiedenen Kapazitäten.

Die Selbstinduktion L ist aber durchaus nicht identisch mit der Selbstinduktion der zugeschalteten Spule, die nur 0,003 Henry betrug. Vielmehr scheint der Bogen selbst eine gewisse scheinbare Selbstinduktion zu besitzen, welche angenähert dem Kohlenabstand proportional ist. Die Selbstinduktion einer Spule wird bekanntlich durch die Ausstrahlung magnetischer Energie bewirkt, welche dem Anwachsen des Stromes entgegen wirkt. Beim Lichtbogen kann die Ausstrahlung magnetischer Energie nicht die große Selbstinduktion herbeiführen. Es wird vermutet, daß die Energie zur Erwärmung der negativen Kohlenspitze verwandt wird. Bei Abnahme der Spannung würde die erhöhte Temperatur den Strom noch eine Weile aufrecht erhalten und also ähnlich so wirken, wie die Rückstrahlung der magnetischen Energie einer Spule.

IV. Elektrodenspannung und Kohlenabstand.

Wie schon in der Versuchsanordnung gezeigt worden ist, wurde die Elektrodenspannung unmittelbar an den Kohlen abgenommen. Fig. 6 zeigt die Spannungskurven für die verschiedenen Kapazitäten. Auf die kleinste Kapazität von 0,224 Mikrofarad ist verzichtet worden, da das Pfeifen schon bei 1 mm aufhörte, und sich diese Messung deswegen schwierig gestaltete. Aus der Abbildung ersieht man, daß bis zu dem Kohlenabstande von 3 mm die Spannung bei jeder Kurve fast durchweg bis 60 Volt stetig steigt. Erst von hier ab, dem sogenannten kritischen Punkt, trennen sich die Kurven.

Betrachtet man Kurve 5 ohne Kapazität, so steigt sie von dem kritischen Punkte sehr schnell an, während die anderen weniger steil ansteigen. Kurve 1 mit der größten Kapazität steigt am schwächsten, so daß man wohl mit Recht annehmen kann, daß mit steigender Kapazität die Spannung fällt. Das Steigen der Spannung bei allen Kurven erklärt sich dadurch, daß bei größerem Kohlenabstand die Potential-Differenz steigt. Auch bei diesen Versuchen war es interessant zu beobachten, wie beim Schließen des Kondensatorstromkreises und dadurch zu Beginn des Pfeifens die Spannung plötzlich um 10 Volt fiel und sich dann erst konstant einstellte.



ohne Kapazität
5
3
0,469 MF.
2,757 MF.
2
3,226 MF.
1
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Volt
Kohlenabstand
0
1
2
3
4
5
6
7
8 mm

Fig. 6.

V. Klemmspannung des Kondensators.

Wie schon früher bei der Berechnung der Periodenzahl nach der Thomson'schen Formel gesagt worden ist, ist von dem Widerstande abgesehen worden. Die Klemmspannung am Kondensator war nach G. P. Markowitch [1])

$$e_c = E_m \cdot \cos\left(\frac{1}{\sqrt{C \cdot L}} \cdot t\right).$$

Interessanter ist es zu beobachten, was für einen Einfluß R bei einem komplizierten Stromnetz ausübt. Bezeichnet wie oben i den zur Zeit t durch den Stromkreis fließenden Strom, e_c die Klemmspannung des Kondensators, welcher der Ladung q entspricht, so muß nach dem Gesetz von Kirchhoff folgende Gleichung bestehen:

$$e_c = i \cdot R + L \frac{di}{dt}.$$

da aber $e_c = \frac{q}{C}$, $i = -\frac{dq}{dt}$ und $\frac{di}{dt} = -\frac{d^2 q}{dt^2}$,

so folgt: $$\frac{q}{c} = -R \cdot \frac{dq}{dt} - L \cdot \frac{d^2 q}{dt^2},$$

von wo $$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C \cdot L} \cdot q = O.$$

Setzt man

$$q = e^{x \cdot t}, \quad \frac{dq}{dt} = x \cdot e^{x \cdot t} \quad \text{u.} \quad \frac{d^2 q}{dt^2} = x^2 \cdot e^{x \cdot t},$$

---

[1]) G. P. Markowitch. Spannungserhöhungen in elektrischen Netzen infolge Resonanz und freier elektrischer Schwingungen.

so kann man auch schreiben:

$$x^2 + \frac{R}{L} \cdot x + \frac{1}{C \cdot L} = O.$$

Die Wurzeln dieser quadratischen Gleichung sind:

$$x_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{L \cdot C}}$$

$$x_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}}$$

Das allgemeine Integral der Differentialgleichung zweiten Grades wird der Form nach sein:

$$q = A \cdot e^{x_1 \cdot t} + B \cdot e^{x_2 \cdot t}$$

oder, indem man für x_1 u. x_2 die Werte einsetzt.

$$q = e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \left[A \cdot e^{\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}}} + B \cdot e^{-\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}}}\right]$$

Je nachdem die Größe

$$\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}} = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{4L}{C}}$$

positiv oder negativ sein wird, erhält man reelle oder imaginäre Wurzeln, d. h. ist der Widerstand

$R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$, so sind die Wurzeln reell, und ist

$R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$, so sind die Wurzeln imaginär. Von größtem Interesse ist der Fall, wo $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$ ist. In diesem Falle kann die Entladung durch folgende Gleichung ausgedrückt werden.

$$q = Q \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t}\left[\cos\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t + \frac{r}{2L \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}} \cdot \sin\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}\, t\right]$$

Diese Gleichung läßt sich noch auf folgende Formen bringen:

$$q = Q_0 \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \cos\left[\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t - \varphi\right]$$

wo $$Q_0 = Q \cdot \sqrt{1 + \frac{R^2 \cdot C}{4L - R^2 \cdot C}}$$

und $$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{2L \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

Die Klemmspannung am Kondensator kann ausgedrückt werden durch

$$e_c = \frac{q}{C} = \frac{Q}{C} \cdot \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 \cdot C}} \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \cos \left[\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t - \varphi\right]$$

oder durch

$$e_c = E_m \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \cos\left[\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t - \varphi\right]$$

und die Stromstärke i durch

$$i = \frac{Q}{C \cdot L \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}} \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t\right)$$

oder auch

$$i = J_0 \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t\right)$$

also auch im vorliegenden Falle, wo man den Widerstand des Stromkreises in Rechnung nimmt, für welchen die Bedingung $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$ erfüllt ist, sind Stromstärke, Klemmspannung und Entladung oscillirend.

Daß eben bei solchem oscillirenden Entladungsvorgange freie elektrische Schwingungen auftreten,

beweisen vorangegangene Versuche. Durch entsprechende Veränderungen von dem Widerstande R, der Kapazität C, der Selbstinduktion L kann man erreichen, daß die auftretenden freien Schwingungen das umgebende Medium, also die Luft, in solche Vibrationen versetzen, daß dieselben unserem Gehörorgan zugänglich werden, wie es die musikalische Bogenlampe beweist.

VI. Stromstärke und Kohlenabstand.

Die vorher in III erwähnten Versuche sollten eigentlich mit einer Stromstärke von 3—5 Amp. ausgeführt werden, wie die älteren Versuche von Simon[1]), Duddel[2]) etc. Da der Vorschaltwiderstand aber zu groß war, so wurde die Stromstärke geringer wie Fig. 7 zeigt. Die Stromstärke sinkt von 2,1 Amp. bei wechselndem Kohlenabstand allmählich bis auf 1,1 Amp. bei 9 mm Kohlenabstand. Die Stromstärke ist bei allen Kapazitäten gleich groß; man sieht also, daß in diesem Falle die verschieden großen Kapazitäten auf die Stromstärke keinen Einfluß ausüben.

[1]) Simon. Ann. d. Phys. u. Chemie 64, 1898, S. 233.
[2]) Duddel. The Electrician 1900.

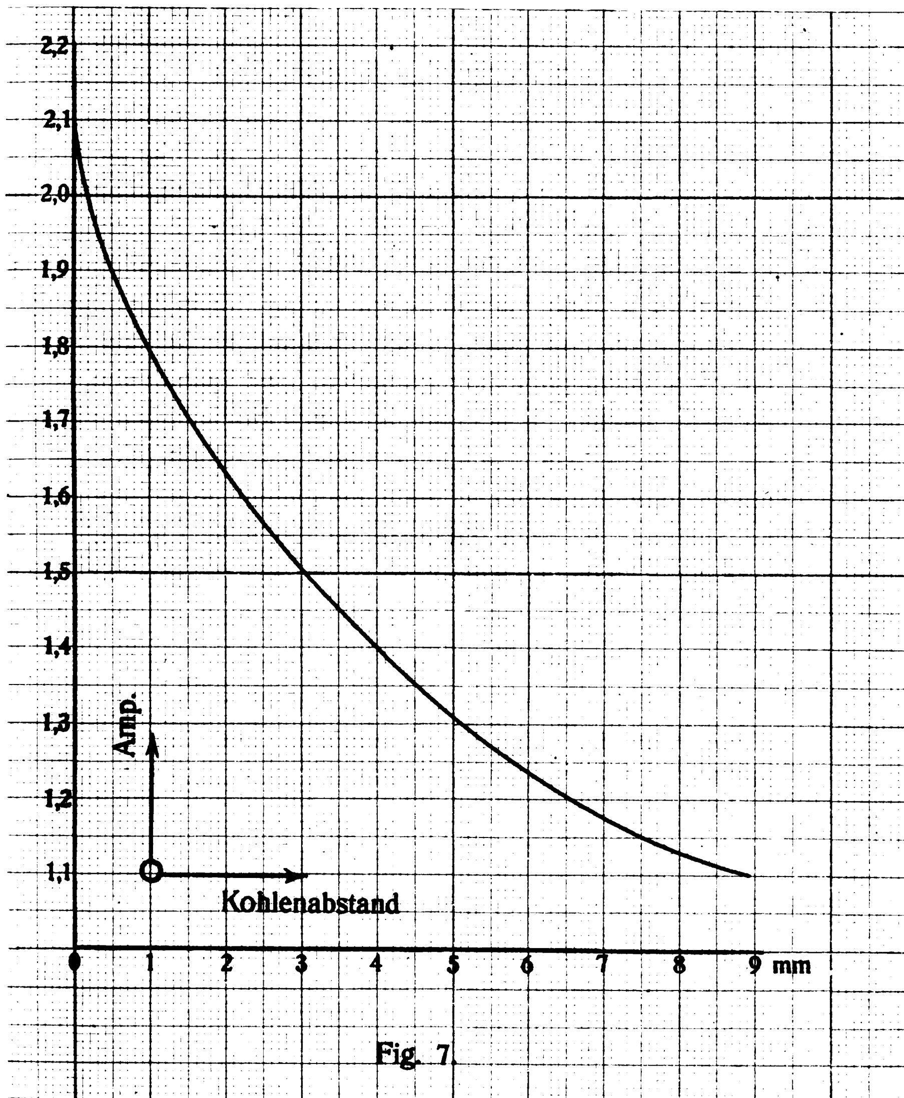

2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
Amp.
Kohlenabstand
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9 mm

Fig. 7.

VII. Der Bogen als Telephon-Übertragungsapparat.

Die Schaltung Fig. 8 ist von Duddel[1]) angegeben; diese zeigte sich verschiedenen anderen Schaltungen überlegen. Die Resultate waren bei 4—5 cm Kohlenabstand gut; man konnte genau am Lichtbogen vernehmen, was vor dem einige Zimmer weiter aufgestellten Mikrophon (M) gesungen, gesprochen und gepfiffen wurde. Bei einem geringen Kohlenabstand von 1—2 cm gab der Bogen die in das Telephon hineingesprochenen Worte nur leise und unverständlich wieder. Bei langen Lichtbogen ist die Schwingungszahl der Sprache größer als diejenige des Bogens, so daß genau Obertöne und Untertöne zu verstehen sind. Der Erfolg war derselbe, wenn die Selbstinduktion S ausgeschaltet war, während das Sprechen sofort beim Ausschalten der Kapazität C aufhörte. Die Kapazität mußte mindestens 2 M. F. betragen.

---

[1]) The Electrician 1900.

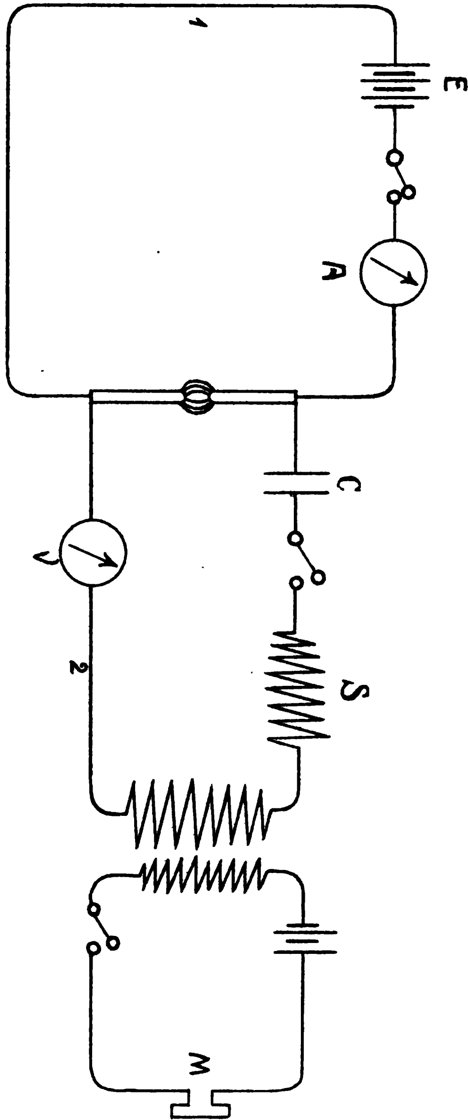


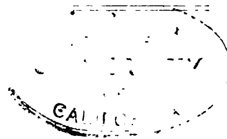
Fig. 8.

VIII. Ergebnis der Untersuchung.

Die Untersuchung in Kap. III hat gezeigt, wie hoch sich die Tonhöhe steigern läßt. Andere Versuche, wie die von Blondel[1], haben allerdings auch schon beträchtliche Schwingungszahlen ergeben, wovon seine mit dem Oscillographen angestellten Experimente Zeugnis geben. Ferner sieht man auch aus der Abbildung 4, wie die Tonhöhe mit dem größer werdenden Kohlenabstande fällt. Den bedeutendsten Einfluß auf die Tonhöhe übt die Kapazität aus. Die Tonhöhe steigt zwar mit fallender Kapazität, wird aber für das menschliche Ohr weniger vernehmlich, während bei der Vergrößerung der Kapazität der Ton fällt und auch lauter und genau hörbar wird.

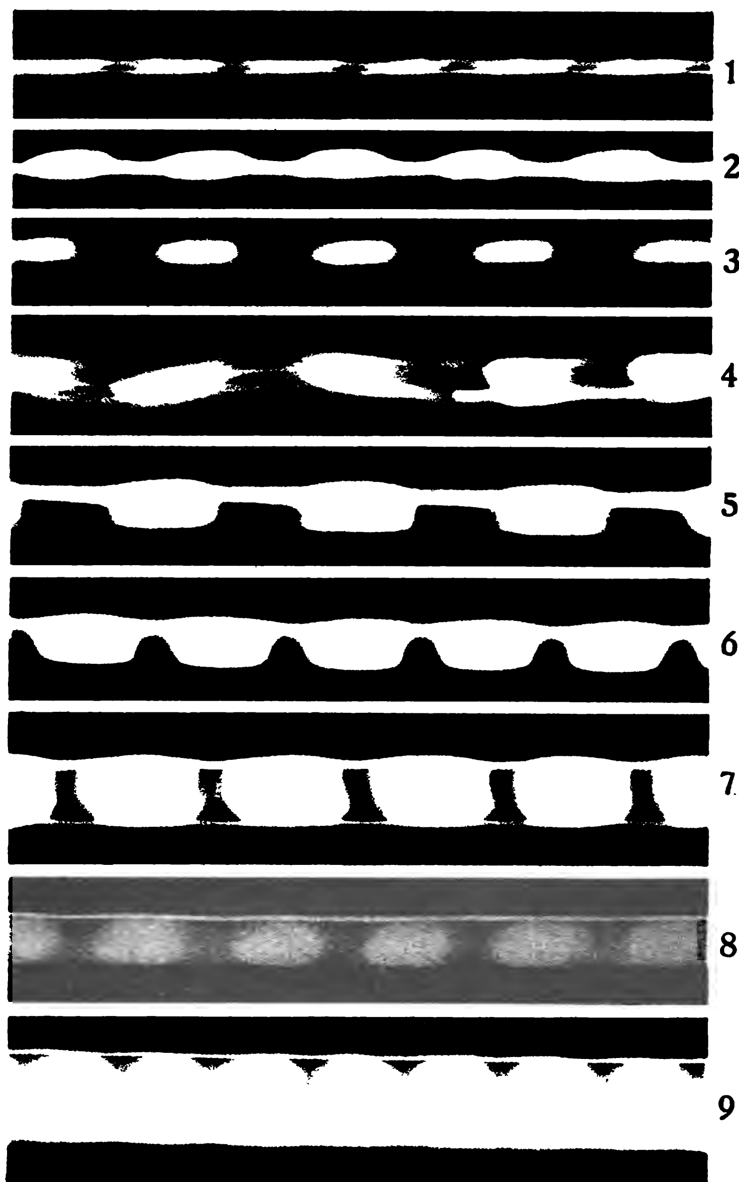
Hätte man stets bei dem Motor dieselbe Tourenzahl und auch immer dieselbe Entfernung r vom Spiegel bis zur photographischen Platte gehabt, so wären die Photographien gleichmäßiger geworden. Da die Schwingungszahl von mm zu mm dann besser ersichtlich gewesen wäre, so hätte man dann eine Skala gehabt, durch die es sehr leicht möglich gewesen wäre, aus der Schwingungszahl die Größe der Kapazität abzulesen.

[1]) A. Blondel. Des Séances de l' Académie des Séances. 1905, Bd. 26 u. 28.



Vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Landesuniversität Rostock angefertigt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Wachsmuth für die Anregung der vorliegenden Arbeit und seine freundlichst gewährten Ratschläge meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Herrn Professor Dr. Martens danke ich für Unterstützung bei der Anordnung der Arbeit.

Tafel 1.

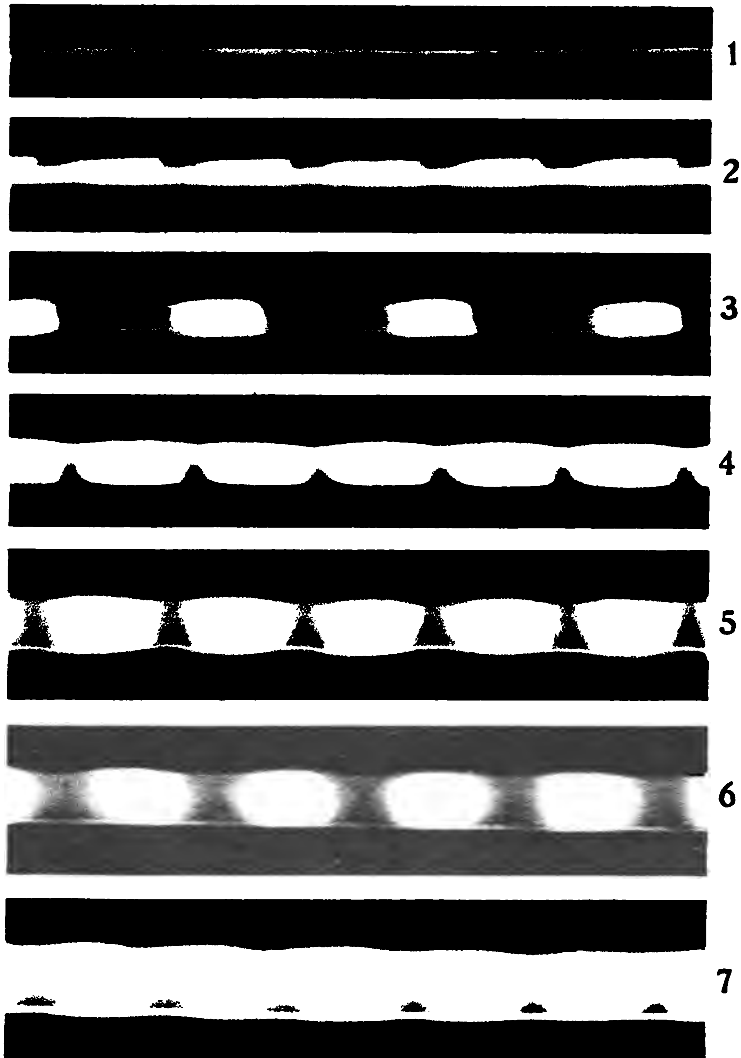


Kapazität = 3,226 Microfarad.



OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

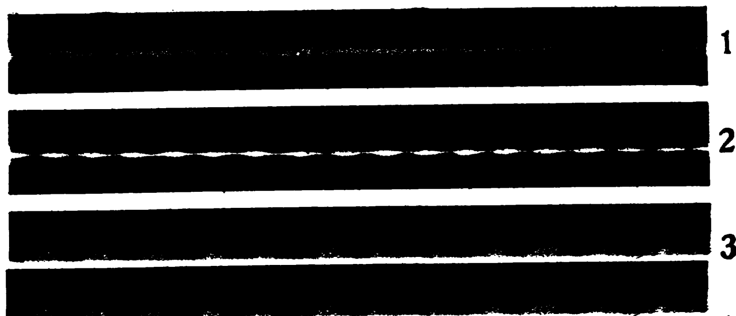
Tafel 2.



Kapazität = 2,757 Microfarad.

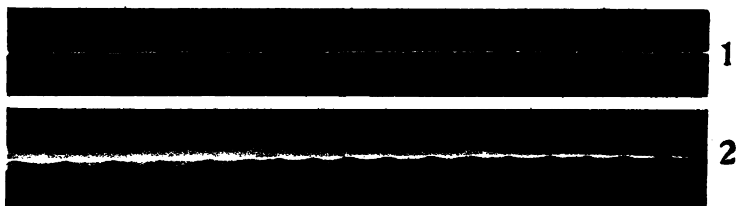

VERSITY
OF
FORNIA

Tafel 3.



Kapazität = 0,469 Microfarad.

Tafel 4.



Kapazität = 0,224 Microfarad.


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

